



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam system tenaga listrik secara keseluruhan.<sup>[6]</sup>

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan



setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Sistem distribusi terdiri atas system distribusi primer dan sekunder.

## 2.2. Transformator

Transformator atau lebih dikenal dengan nama “*transformer*” atau “*trafo*” sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan yang satu ke level tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (kumparan primer) dan kumparan yang lain mensuplai listrik ke beban (kumparan sekunder). Bila terdapat lebih dari dua kumparan maka kumparan tersebut akan disebut sebagai kumparan tersier, kuarter, dst.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, sehingga fluks magnet yang timbulkan akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi.



Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya.
2. Transformator distribusi.
3. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

Transformator merupakan alat yang memegang peran penting system distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energy dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik yang mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.

Transformator distribusi yang digunakan di Indonesia saat ini pada umumnya adalah transformator produksi dalam negeri. Ada lima pabrik transformator di Indonesia yaitu: PT. UNINDO, PT. TRAFINDO dan PT. ASATA di Jakarta; PT. MURAWA di Medan : PT. Bambang Djaja di Surabaya. Ditinjau dari jumlah fasanya transformator distribusi ada dua macam, yaitu transformator satu fasa dan transformator tiga fasa. Transformator tiga fasa mempunyai dua tipe yaitu tipe tegangan sekunder ganda dan tipe tegangan sekunder tunggal. Sedang transformator satu fasa juga mempunyai dua tipe yaitu tipe satu kumparan sekunder dan tipe dua kumparan sekunder saling bergantung, yang di kenal dengan trafo tipe "NEW JEC". Bak transformator dapat diisi dengan minyak transformator biasa atau askarel (suatu bahan buatan) dan kelas ini untuk kapasitas daya lebih kecil dari 1000 kVA.

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step down 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi drop tegangan maka tegangan pada rak TR dibuat diatas 380 Volt agar



tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik arus bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet.

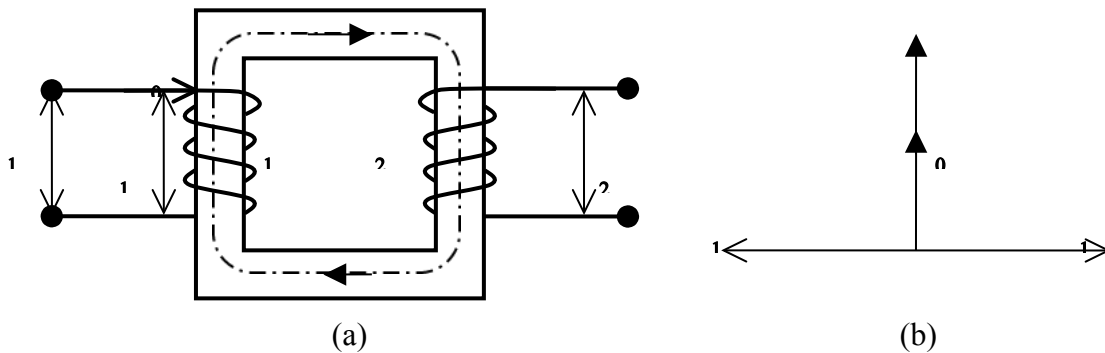
Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik maka flux yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinus maka flux yang terjadi akan berbentuk sinus pula. Karena flux tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada lilitan primer dan sekunder tersebut akan timbul ggl ( gaya gerak listrik ) induksi, tetapi arah dari ggl induksi primer berlawanan dengan arah ggl induksi sekunder sedangkan frekuensi masing-masing tegangan tersebut sama dengan frekuensi sumbernya.

Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.<sup>[7]</sup>



Gambar 2.1. Transformator Distribusi

**a. Keadaan transformator tanpa beban.**



Gambar 2.2. Keadaan transformator tanpa beban.

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoid, akan mengalirkan arus primer  $I_0$  yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (gambar 2). Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa juga berbentuk sinusoid.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  ( Hukum Faraday)

$$e_1 = - N_1 \cdot d\Phi / dt$$

$$e_1 = - N_1 \cdot d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t)/dt = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$$

(tertinggal  $90^\circ$  dari  $\Phi$ ) harga efektifnya adalah

$$E_1 = N_1 \cdot 2 \pi f \Phi_{\text{maks}} / \sqrt{2} = 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$$

Pada rangkaian skunder, fluks ( $\Phi$ ) bersama tadi menimbulkan

$$e_2 = - N_2 \cdot d\Phi / dt$$

$$e_2 = - N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$$

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$E_1 / E_2 = V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = a. \dots\dots\dots (2.1)$$

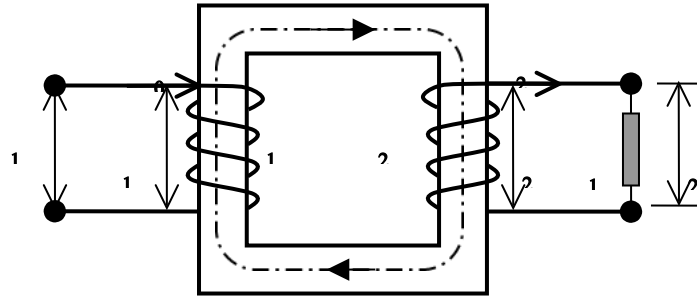
$a$  = perbandingan transformasi.

Dalam hal ini tegangan induksi  $E_1$  mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber  $V_1$ .<sup>[7]</sup>



### b. Keadaan berbeban.

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder dimana  $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$  dengan  $\theta_2 =$  faktor kerja beban.



Gambar 2.3 . Transformator dalam keadaan berbeban.

Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\Phi$ ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_M$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I'_2$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

Bila rugi besi diabaikan ( $I_c$  diabaikan ) maka  $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I'_2$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_M$  saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_1 - I'_2) - N_2 I_2$$

Hingga

$$N_1 I'_2 = N_2 I_2$$

Karena nilai  $I_M$  dianggap kecil maka <sup>[7]</sup> :

$$I_1 = I'_2$$



$$\text{Jadi} \rightarrow \frac{N_1}{I_1} = \frac{N_2}{I_2} \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu system distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan / mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step down transformator); misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedang transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (step up transformator), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (long line) tidak mengalami penurunan tegangan (voltage drop) yang berarti; yaitu tidak melebihi ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5% dari tegangan semula.<sup>[4]</sup>

Jenis transformator yang digunakan adalah transformator satu fasa dan transformator tiga phase. Adakalanya untuk melayani beban tiga phase dipakai tiga buah transformator satu phase dengan hubungan bintang (star connection) Y atau hubungan delta (delta connection)  $\Delta$ .

Sebagian besar pada jaringan distribusi tegangan tinggi (primer sekarang ini) dipakai transformator tiga phase untuk jenis out door. Yaitu jenis transformator yang diletakkan diatas tiang dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan jenis

in door, yaitu jenis yang diletakkan didalam rumah gardu. Fungsi Gardu Distribusi Adalah Sebagai Berikut :

1. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen



tegangan rendah.

2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan kekonsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

### **2.3.1. Macam-Macam Gardu Distribusi**

Gardu distribusi dapat dibedakan dari beberapa hal yang diantaranya :

#### **a. Gardu Tembok (Gardu Beton)**

Gardu tembok adalah gardu trafo /hubung yang secara keseluruhan konstruksinya tersebut dari tembok/beton. Gardu Beton/ Tembok Sesuai dengan namanya maka gardu ini terbuat dari beton. Type dari bangunan ini bermacam-macam sesuai dengan lokasi dan kebutuhan Kapasitas transformator yang dipasang pada gardu ini dapat lebih besar dibandingkan dengan gardu-gardu sebelumnya yang sudah dijelaskan. Jumlah Trafo yang dapat ditampung dalam gardu ini dapat lebih dari 1 buah, dimana hal ini bergantung dari kebutuhan dan lokasi yang ada.

#### **b. Gardu Kios (Gardu Besi)**

Gardu kios adalah gardu yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios. Gardu Distribusi yang pembangunannya biasanya bersifat untuk sementara saja selama ada rehabilitasi gardu. Bangunannya terdiri dari rangka besi dan dindingnya dari Seng serta lantainya biasanya terbuat dari kayu atau beton.

Ruangan pada gardu ini terdiri dari 3 bagian,yaitu :

- Ruang Tegangan Menengah
- Ruang Trafo
- Ruang Tegangan Rendah

#### **c. Gardu Portal**

Gardu portal adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih.





#### **d. Gardu Kontrol/ Cantol**

Gardu kontrol adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada satu tiang.

#### **2.3.2. Prosedur Uji Instalasi Gardu Distribusi**

Prosedur uji laik instalasi gardu; Sebelum dioperasikan instalasi gardu distribusi harus dilakukan uji laik yang meliputi:

- 1). Uji verifikasi rencana
  - a. Meneliti kesesuaian hasil pelaksanaan dengan rancangan bahan referensi adalah persyaratanpersyaratan teknis pada rancangan surat perintah kerja.
  - b. Meneliti kesesuaian spesifikasi teknis dengan material yang \terpasang.
- 2). Uji fisik hasil pelaksanaan.
  - a. Meneliti apakah hasil pelaksanaan telah memenuhi persyaratan fisik hasil pekerjaan (kokoh, tidak goyang) tekukan, belokan kabel clan lain-lain.
  - b. Meneliti mekanisme kerja peralatan.
  - c. Meneliti kebenaran pengkabelan, pengawatan instalasi listrik.
  - d. Meneliti kekencangan ikatan-ikatan mur, baut, konektor dan lain-lain.
  - e. Meneliti kabel-kabel instalasi tidak menahan beban mekanik selain beban sendiri.
  - f. Meneliti pengkabelan (wiring) instalasi kontrol.
- 3). Uji Ketahanan Isolasi
  - a. Melakukan uji ketahanan isolasi dengan alat megger pada tiap antar fasa clan fasa tanah (referensi PUIL 1 volt = 1 kilo ohm) pada sisi TM clan TR.
  - b. Uji dilakukan juga pada transformator.
- 4). Uji ketahanan Impulse
 

Melakukan uji withstand test 50 k J per 1 menit.
- 5). Uji Power Frekuensi ....



Melakukan uji tegangan 24 kV selama 15 menit.

- 6). Uji alat proteksi
  - a. Uji fisik pengaman lebur dengan multi meter
  - b. Uji Rak proteksi (jika ada)
- 7). Uji alat-alat kontrol
 

Setelah dioperasikan uji unjuk kerja alat-alat kontrol (lampu,voltmeter, ampere meter): Hasil uji laik didokumenkan untuk izin operasional.
- 8). Instalasi untuk pelanggan tegangan menengah, hanya ditambah:
  - a. Satu sel kubikel transformator tegangan
  - b. Satu sel kubikel sambungan pelanggan dengan fasilitas:
  - c. Circuit breaker yang bekerja etas dater batas arus nominal. Daya tersambung pelanggan.
  - d. Transformator arus.
  - e. Satu sel kubikel untuk sambungan kabel milik pelanggan
  - f. Satu set alat ukur ( kWH meter, kVARH meter)
  - g. Satu set relai pembatas beban.
- 9). Spesifikasi teknis den ketentuan instalasinya same dengan ketentuan instalasi sel kubikel lain.
- 10). Uji opsional dilaksanakan dengan tambahan, uji untuk kerja circuit breaker den relai pembatas pelanggan. <sup>[5]</sup>

#### **2.4. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)**

Pada system distribusi tegangan menengah dipergunakan kabel tiga fase tanpa penghantar nol (netral) , sehingga terdapat tiga kawat. Berbeda halnya dengan tegangan rendah, dipergunakan penghantar nol, sehingga terdapat empat

kawat. Di darerah daerah dengan banyak gangguan cuaca, terutama yang berbentuk petir, saluran dapat dilengkapi dengan kawat petir.

Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia tahun kabel 1987 (PUIL-1987)



mengenal antara lain hantaran udara di luar bangunan dan kabel tanah. Hantaran udara, sering juga disebut saluran udara, merupakan penghantar energy listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang di atas tiang-tiang listrik di luar bangunan. Sedangkan pada kabel tanah penghantarnya dibungkus dengan bahan isolasi. Kabel tanah dapat digunakan untuk tegangan rendah maupun tegangan menengah. Sebagaimana namanya kabel tanah ditanam di dalam tanah.<sup>[2]</sup>

#### 2.4.1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

SUTR digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator di antara tiang-tiang yang disediakan secara khusus untuk maksud itu. Bahan yang digunakan untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang (BCC, yang merupakan singkatan dari *Bare Copper Cable*), alumunium telanjang (ACSR atau *Alumunium Cable Steel Reinforced*) dan kawat baja yang dilapisi tembaga (*Copper-weld*).

Secara teknis, tembaga lebih baik daripada alumunium, karena memiliki daya hantar arus yang lebih tinggi. Namun karena harga tembaga yang tinggi, lagipula memiliki kecenderungan untuk senantiasa naik, kian lama pemakaian kawat alumunium. Apalagi, kawat tembaga sering menjadi sasaran pencurian karena dapat diolah untuk pembuatan barang barang lain yang laku di pasaran. Pada SUTR banyak dipakai kawat alumunium telanjang (AAC). Kini banyak digunakan alumunium punter berisolasi (*twisted wire*).<sup>[2]</sup>

Saluran ini merupakan penghantar yang ditempatkan di atas tiang(di udara). Ada dua jenis penghantar yang digunakan, yaitu penghantar tak berisolasi (kawat) dan penghantar berisolasi (kabel). Penghantar tak berisolasi mempunyai berbagai kelemahan, seperti rawan pencurian dan rawan terjadi gangguan phase-

phase maupun phase-netral. Tetapi memiliki keunggulan harga yang relatif murah dan mudah dalam hal pengusutan gangguan. Sedang penghantar berisolasi memiliki keuntungan dan kerugian yang saling berlawanan dengan penghantar tak berisolasi. Pada umumnya PT PLN Distribusi Rivai, menggunakan SUTR dengan



isolasi (kabel pilin), dengan inti alumunium. Standar ukuran kabel yang digunakan adalah 3x 70 + 50 mm<sup>2</sup>. Dengan karakteristik elektrik sebagai berikut:

Tabel 2.1. Karakteristik Kabel SUTR

Size Cable	Phase		Neutral
	Resistance (ohm)/ km	Max Current (A)	Resistance (ohm)/ km
2 x 10	3,08	54	3,08
2 x 16	1,91	72	1,91
2x25 + 1x25	1,2	130	1,38
2x35 + 1x25	0,868	125	1,38
2x50 + 1x25	0,641	154	0,986
2x70 + 1x50	0,433		
2x95 + 1x70	32		
3x25 + 1x25	1,2	130	1,38
3x35 + 1x25	0,868	125	1,38
3x50 + 1x35	0,641	154	0,986
3x70 + 1x50	0,443	196	0,69
3x95 + 1x70	0,32	242	0,45

#### 2.4.2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Bahan untuk kabel jenis ini umumnya terdiri dari tembaga dan alumunium. Sebagai isolasi dipergunakan bahan-bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC



(*Polyvinyl Chloride*) dan XLPE (Cross-Linked Polyethylene) telah berkembang dengan pesat dan merupakan bahan isolasi yang handal karena kabel berisolasi bahan buatan lebih murah, sangat andal dan penggunaannya juga lebih mudah.<sup>[2]</sup>

Saluran ini menempatkan kabel di bawah tanah. Tujuan utama penempatan di bawah tanah pada umumnya karena alasan estetika, sehingga penggunaan SKTR umumnya adalah kompleks perumahan dan daerah perindustrian. Keuntungan penggunaan kabel ini adalah estetika yang lebih indah, tidak terganggu oleh pengaruh-pengaruh cuaca. Kelemahan kabel ini adalah jika terjadi gangguan sulit menemukan lokasinya dan jika terjadi pencurian dengan suntikan di bawah tanah petugas P2TL kesulitan mengungkapkannya.

## **2.5. Beberapa Komponen Jaringan Tegangan Rendah**

Adalah peralatan yang digunakan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR), sehingga JTR dapat menjalankan fungsinya sebagai penyalur energi listrik ke pelanggan. Komponen pada JTR antara lain:

### **2.5.1. Kabel Schoen**

Kabel Schoen digunakan untuk menghubungkan rel pada panel hubung bagi dengan penghantar kabel tegangan rendah (kabel obstyg). Kabel Schoen dipres pada kabel obstyg dan dibaut di rel panel hubung bagi.

### **2.5.2. Konektor**

Adalah peralatan yang digunakan untuk menghubungkan (meng-connect) penghantar dengan penghantar. Misal antara kabel obstyg dan TIC-AI, TIC-AI dengan SR (Sambungan Rumah). Jenis konektor yang umum digunakan PT PLN(Persero) Distribusi Rivai ada dua jenis:

#### **2.5.2.1. Konektor kedap air (piercing connector)**

Konektor ini dapat dipasang dalam kondisi jaringan bertegangan dan tanpa mengupas isolasinya. Konduktansi terjadi karena pada konektor ini terdapat gigi penerus arus. Sehingga gigi penerus arus ini harus tajam dan tegak untuk dapat menembus bagian isolasi kabel, serta harus diberi gemuk untuk melindungi



bagian kontak dari korosi.

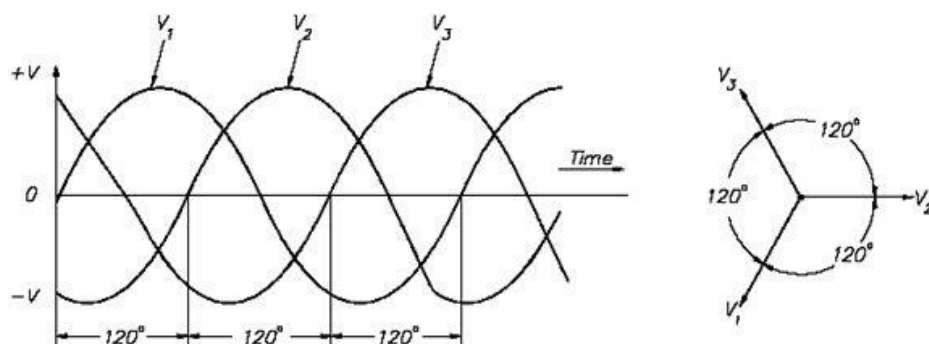
#### 2.5.2.2. Konektor Pres

Pemasangan konektor jenis ini, biasanya harus tanpa tegangan, karena diperlukan pengupasan isolasi kabel untuk membentuk konduktifitas. Konduktivitas yang dihasilkan konektor jenis ini lebih baik, karena luas permukaan kontak lebih besar.

### 2.6 Sistem Tiga Fasa

Kebanyakan sistem listrik dibangun dengan sistem tiga fasa. Hal tersebut didasarkan pada alasan-alasan ekonomi dan kestabilan aliran daya pada beban. Alasan ekonomi dikarenakan dengan sistem tiga fasa, penggunaan penghantar untuk transmisi menjadi lebih sedikit. Sedangkan alasan kestabilan dikarenakan pada sistem tiga fasa daya mengalir sebagai layaknya tiga buah sistem fase unggal, sehingga untuk peralatan dengan catu tiga fasa, daya sistem akan lebih stabil bila dibandingkan dengan peralatan dengan sistem satu fasa.

Sedangkan bentuk gelombang dari sistem tiga fasa yang merupakan fungsi waktu ditunjukkan pada gambar berikut :





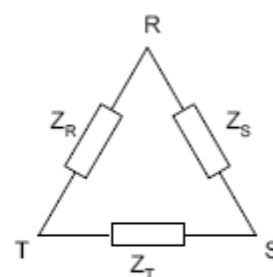
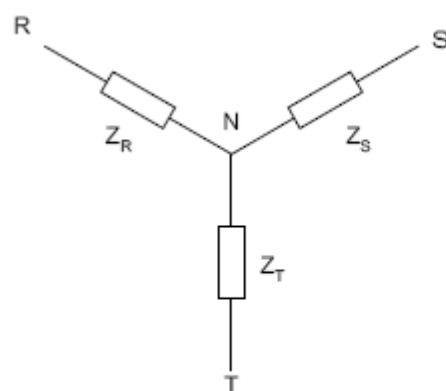
Gambar 2.4. Bentuk Gelombang Dari Sistem Tiga Fasa

Pada gambar nampak bahwa antara tegangan fase satu dengan yang lainnya mempunyai perbedaan fase sebesar  $120^\circ$  atau  $2/3$ . Pada umumnya fase dengan sudut fase  $0^\circ$  disebut dengan fase R, fase dengan sudut fase  $120^\circ$  disebut fase S dan fase dengan sudut fase  $240^\circ$  disebut dengan fase T. Perbedaan sudut fase tersebut pada pembangkit dimulai dari adanya kumparan yang masing masing tersebar secara terpisah dengan jarak  $120^\circ$ .

### 2.6.1. Sistem Y Dan Delta

Sistem Y merupakan sistem sambungan pada sistem tiga fase yang menggunakan empat kawat, yaitu fase R, S, T dan N. Sistem sambungan tersebut akan menyerupai huruf Y, yang memiliki empat titik sambungan yaitu pada ujung-ujung huruf dan pada titik pertemuan antara tiga garis pembentuk huruf. Sistem Y dapat digambarkan dengan skema berikut.

Pada hubung delta, tegangan antara terminal keluaran adalah tegangan lilitannya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada hubungan Y, tegangan saluran ke saluran adalah  $\sqrt{3}$  kali tegangan fase yang bergeser sebesar  $30^\circ$  dan arus saluran sama dengan arus fasenya.

SISTEM  
DELTA



Gambar 2.5. Sistem Y dan Delta

Sistem hubungan atau sambungan Y, sering juga disebut sebagai hubungan bintang.

Sedangkan pada sistem yang lain yang disebut sebagai system Delta, hanya menggunakan fase R, S dan T untuk hubungan dari sumber ke beban, sebagaimana gambar diatas. Tegangan efektif antar fase umumnya adalah 380 V dan tegangan efektif fase dengan netral adalah 220 V.

### 2.6.2. Beban Seimbang Terhubung Delta

Pada sistem delta, bila tiga buah beban dengan impedansi yang sama disambungkan pada sumber tiga fase, maka arus di dalam ketiga impedansi akan sama besar tetapi terpisah dengan sudut sebesar  $120^\circ$ , dan dikenal dengan arus fase atau arus beban. Untuk keadaan yang demikian, maka dalam rangkaian akan berlaku :

$$V_{\text{delta}} = V_{\text{line}}$$

$$I_{\text{delta}} = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\text{delta}} = \frac{V_{\text{delta}}}{I_{\text{delta}}}$$

$$S_{\text{delta}} = 3 \times V_{\text{delta}} \times I_{\text{delta}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} = 3 \times \frac{V_{\text{line}}^2}{Z_{\text{delta}}} = I_{\text{line}}^2 \times Z$$

$$P = S \cos \phi$$

$$Q = S \sin \phi$$





### 2.6.3. Beban Seimbang Terhubung Y

Untuk sumber dan beban yang tersambung bintang (star) atau Y, hubungan antara besaran listriknya adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{star}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$

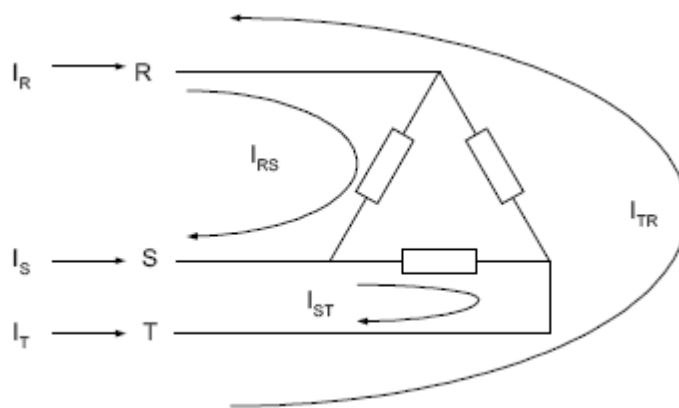
$$I_{\text{star}} = I_{\text{line}}$$

$$Z_{\text{star}} = \frac{V_{\text{star}}}{I_{\text{star}}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3} I_{\text{line}}}$$

$$S_{\text{star}} = 3 \times V_{\text{star}} \times I_{\text{star}} = \frac{V_{\text{line}}^2}{Z_{\text{star}}} = 3 \times I_{\text{line}}^2 \times Z_{\text{star}}$$

### 2.6.4. Beban Tak Seimbang Terhubung Delta

Penyelesaian beban tak seimbang tidaklah dapat disamakan dengan beban yang seimbang sebagaimana dijelaskan diatas. Penyelesaiannya akan menyangkut perhitungan arus-arus fase dan selanjutnya dengan hukum arus Kirchhoff akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing fase.



Gambar 2.6. Arus Pada Hubung Delta

$$i_{RS} = V_{RS} / Z_{RS}$$

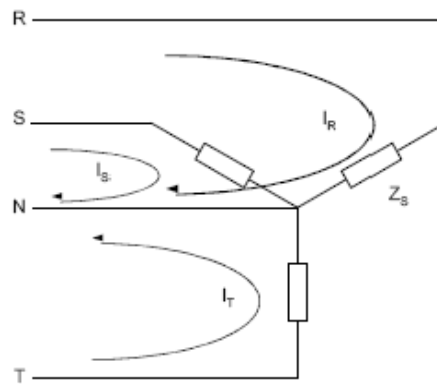
$$i_{ST} = V_{ST} / Z_{ST}$$



$$i_{TR} = V_{TR} / Z_{TR}$$

### 2.6.5. Beban Tak Seimbang Terhubung Y

Pada sistem ini masing-masing fase akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju Netral (pada sistem empat kawat). Sehingga arus netral merupakan penjumlahan secara vector arus yang mengalir dari masing-masing fase.



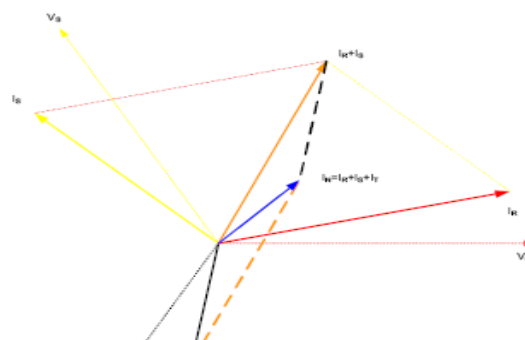
Gambar 2.7. Beban Tak Seimbang Hubung Bintang Empat Kawat

Pada sistem dengan empat kawat, akan berlaku :

$$i_R = V_{RN} / Z_R \quad i_S = V_{SN} / Z_S \quad i_T = V_{TN} / Z_T$$

$$\vec{i}_N = \vec{i}_R + \vec{i}_S + \vec{i}_T$$

Diagram fasor untuk beban tak seimbang dengan tiga kawat, salah satu contohnya adalah sebagai berikut :





Gambar 2.8. Diagram Fasor Beban Tak Seimbang

### 2.7. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara matematis ditulis.<sup>[1]</sup>

$$\eta = \frac{W_s}{W_p} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

↓

$$\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{N_s \times I_s}{N_p \times I_p} \times 100\%$$

Dengan:

$\eta$  = efisiensi trafo



$W_s$  = energi sekunder (keluar)

$W_p$  = energi primer (masuk)

$V_s$  = tegangan sekunder (keluar)

$V_p$  = tegangan primer (masuk)

$I_s$  = arus sekunder

$I_p$  = arus primer

$N_s$  = lilitan sekunder

$N_p$  = lilitan primer

### 2.7.1. Losses Pada Penghantar Phase

Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi menjadi energi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan:

$$\Delta V = \left(\frac{I}{2}\right)^2 (R \cos \varphi + X \sin \varphi)L$$

$$\Delta V = 3 \left(\frac{I}{2}\right)^2 R L \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

$I$  : Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$R$  : Tahanan pada penghantar (Ohm / km)

$X$  : Reaktansi pada penghantar (Ohm /km)

$\cos$  : Faktor daya beban

$L$  : panjang penghantar (km)

### 2.7.2. Losses Akibat Beban Tidak Seimbang

Akibat pembebanan di tiap phase yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada hantaran netral. Jika di hantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral



sebesar:

$$\Delta P = I_N^2 \times R \quad [3] \dots\dots\dots (2.4)$$